



Nyckeln till fibrer

– texturbildning i växtbaserade köttanaloger

The key to fibres – texture formation in plant-based meat analogues

Hedvig Bergsten

Självständigt arbete i livsmedelsvetenskap-kandidatarbete • (15 hp)

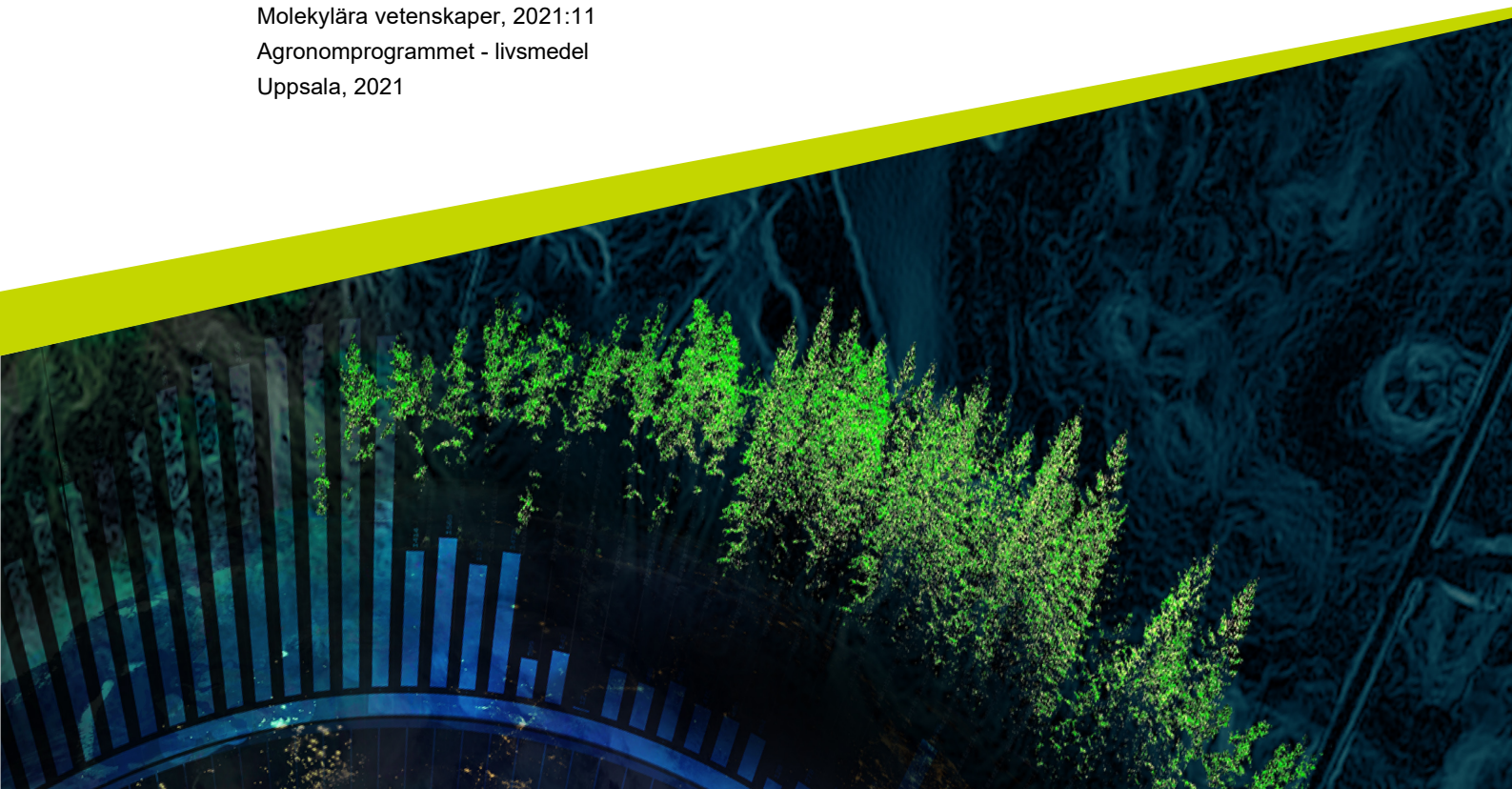
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Institutionen för molekylära vetenskaper

Molekylära vetenskaper, 2021:11

Agronomprogrammet - livsmedel

Uppsala, 2021



Nyckeln till fibrer – texturbildning i växtbaserade köttanaloger

The key to fibres – texture formation in plant-based meat analogues

Hedvig Bergsten

Handledare: Galia Zamaratskaia, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för molekylära vetenskaper

Examinator: Maud Langton, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för molekylära vetenskaper

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i Livsmedelsvetenskap

Kurskod: EX0876

Program/utbildning: Agronom-livsmedel

Kursansvarig inst.: Institutionen för molekylära vetenskaper

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2021

Serietitel: Molekylära vetenskaper

Delnummer i serien: 2021:11

Nyckelord: växtbaserade köttanaloger, fiberformation, proteininnehåll, extrudering, shear cell technology, mykoprotein, spinning-system, 3D-printin, proteinskifte

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för molekylära vetenskaper

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

☒ JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

Sammanfattning

Marknaden för växtbaserade köttalternativ är hetare än någonsin och lockar till sig allt fler konsumenter. I takt med att köttkonsumtion alltmer pekats ut som en stor klimatbov och generellt diskuteras i negativa ordalag har intresset för köttanaloger ökat kraftigt. Dessa produceras i syfte att efterlikna köttets organoleptiska egenskaper såsom textur, smak, arom och färg. Övergången till växtbaserat underlättas därav för konsumenten, som av diverse anledningar kan tänkas vilja minska sin köttkonsumtion, om man inte behöver lägga om hela kosten.

Med tanke på det stora intresset för köttanaloger och dess betydelse i ett framtida proteinskifte, var syftet med arbetet att undersöka vilka tekniker som finns idag för att skapa köttig textur, hur dessa skiljer sig åt, på vilket sätt växtproteiner utgör en utmaning i processen och undersöka hur branschen kan komma att utvecklas. En litteraturstudie utfördes för att besvara frågeställningarna genom att tidigare forskning insamlades, analyserades och sammanställdes. Även en intervju med en livsmedelsforskare insatt i ämnet inkorporerades.

Det framkom att det finns flertalet tekniker med målet att imitera kött. Muskelfibrer som kött består av är en utmaning att imitera med växtprotein, som i sitt nativa tillstånd inte skapar en fibrös struktur. Med rätt behandling kan dock en fibrös textur uppstå av enbart vegetabilier. Teknikerna kan delas in i två kategorier; top-down respektive bottom-up, vilket syftar till på vilken nivå analogen faktiskt liknar köttets uppbyggnad. Extrudering och shear cell technology hör till den tidigare, medan mykoprotein, spinning-system och 3D-printing går under den senare. Av dessa är det endast extrudering och mykoprotein som skapar produkter i dagsläget tillgängliga på marknaden. Top-down är generellt en billig och effektiv process, men skapar analoger som inte alls liknar den faktiska uppbyggnaden av kött. Bottom-up ger en bättre struktur, men är både en dyrare och mer tidskrävande process. En stor utmaning i nuläget är att skapa miljövänliga produkter som samtidigt imiterar kött på en hög nivå. Konsumentacceptans för processade livsmedel behöver utvidgas och mer forskning kring bland annat näringsupptag utföras. Men med fortsatt hög efterfrågan från konsumenter möjliggörs allt större investeringar i branschen och en bredare marknad av konkurrenskraftiga produkter.

Nyckelord: växtbaserade köttanaloger, proteininnehåll, växtprotein, extrudering, shear cell technology, mykoprotein, wet spinning, elektrospinning, 3D-printing

Abstract

The market for plant-based meat analogues is growing and attracts more and more customers. Because meat consumption has been pointed out as a key contributor to climate change, the interest in meat analogues has increased rapidly. Many producers of plant-based meat analogues attempt to imitate the organoleptic properties of meat, including texture, taste, aroma and colour in order to facilitate the transition to plant-based for the consumers, who of multiple reasons may want to reduce meat intake.

With regards to the increasing interest in meat analogues and its significance in a potential future protein shift, the aim of this study was to summarize currently available methods to create a fibrous structure of plant-based products, investigate the differences between the methods and examine the advantages and challenges of the methods. A literature study was conducted by collecting, evaluating and analysing data from publications in peer-reviewed scientific journals written in English language, and complemented with an interview with an expert in the subject.

There are several structuring techniques for meat imitation today. Muscle fibres are a challenge to mimic only using plant protein since these do not have a fibrous texture in its native state. With the right treatment however, a somewhat meaty texture is achievable. The processing techniques can be sub-divided into two categories: top-down and bottom up, which refers to what extent the analogue resembles the actual meat structure. Extrusion and shear cell technology belong to top-down, and mycoprotein, spinning systems and 3D-printing to the bottom-up technique. Among these, only extrusion and mycoprotein create products available on the market. Top-down is generally a cheap and effective process but creates analogues with only little resemblance to meat regarding its structure. Bottom up enables a better structure but is often a more expensive and time-consuming process. A great challenge for the industry is to create environmentally friendly plant-based products with a high resemblance of meat. To overcome current obstacles more research of the techniques, and possibly the invention of new ones, is needed. The increasing consumer demand enables however continued investments in the industry, towards a greater market with more competitive products.

Keywords: plant-based meat analogues, muscle fibres, protein content, plant protein, extrusion shear cell technology, mycoprotein, wet spinning, electrospinning, 3D-printing

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	8
Figurförteckning	9
1. Inledning.....	11
1.1. Bakgrund	11
1.2. Syfte och avgränsningar	12
1.3. Metod.....	13
1.3.1. Litteraturstudie	13
1.3.2. Intervju	13
2. Litteraturgenomgång	14
2.1. Proteinets roll.....	14
2.1.1. Vad är köttig konsistens?.....	14
2.1.2. Växtproteiner.....	15
2.2. Tekniker för att skapa fibrös textur	16
2.2.1. Top down-tekniker	18
2.2.2. Bottom-up-tekniker.....	21
2.3. Framtiden för köttanaloger	26
3. Diskussion.....	28
Referenser.....	30

Tabellförteckning

Tabell 1. Fördelar och nackdelar vid produktion av köttanaloger	17
---	----

Figurförteckning

Figur 1. Extruder med tvilling-skruv (Kyriakopoulou et al. 2019)	18
Figur 2. Strukturbildning under kylningsprocessen (Sandoval Murillo et al. 2018)	19
Figur 3. Wet-spinning (A) och elektrospinning (B) (Kyriakopoulou et al. 2019).	24

1. Inledning

1.1. Bakgrund

I takt med att jordens befolkning ökar ställs höjda krav på produktion av proteinrika livsmedel. För många är animalier en viktig del i kosten på grund av den goda sammansättningen av protein och diverse näringsämnen, och ger ofta ett tillräckligt intag av dessa. Samtidigt är framställningen hårt belastande för miljön och tar stora resurser i anspråk (Kyriakopoulou et al. 2019). Med ett överhängande klimathot som diskuteras frekvent blir allt fler konsumenter medvetna om hur maten vi lägger på tallriken spelar roll, och vad man borde förändra för att äta mer klimatsmart. Dock kan det vara svårt att tänka i nya banor om det innebär att hela kosthållningen, med alla välbeprövade och uppskattade recept, måste bytas ut mot helt okända råvaror och maträtter. Detta har banat väg för en ny marknad av växtbaserade produkter. Genom att efterlikna köttets karaktäristiska textur, smak och utseende i så hög grad som möjligt kan så kallade köttanaloger skapas, som särskiljs från andra växtbaserade produkter som inte produceras i syfte att imitera kött (Ismail et al. 2020). Texturen i analoger har likt kött en fibrös struktur där tuggmotstånd och en viss seghet är önskvärd.

Köttanaloger har på senare tid ökat exponentiellt i popularitet och är numera en miljardindustri (Nordevik 2019). Tillväxten har legat runt 15% de senaste 3 åren, vilket förväntas fortsätta öka i framtiden (LRF 2020). I Sverige sker mycket forskning på området och är ett av länderna där utvecklingen går fortast framåt (Kyriakopoulou et al. 2019). Det finns flera bakomliggande orsaker till att allt fler väljer att byta ut köttet då och då eller helt och hållet. Miljöpåverkan, djurvälstånd och hälsomässiga fördelar är vanliga anledningar som tas upp i konsumentundersökningar, men även andra faktorer som pris, smak och tillgänglighet avgör hur villig man är att ändra sina konsumtionsmönster (Boukid 2021).

Kundkretsen har på senare tid expanderat från inbitna veganer till fler flexitarianer som vill byta ut köttet ibland, men ändå vill ha något som liknar originalet (Ismail et al. 2020). Ett substitut som smakar, ser ut och beter sig som kött sänker tröskeln

för konsumenten, som sedan tidigare då vet hur det ska hanteras och tillagas. Denna grupp är en stor drivkraft för branschen och gör att utvecklingen fortsätter i rask takt. Incitamenten för företag att investera inom växtbaserat ökar ständigt och medför att även etablerade företag som använder kött som primärprodukt ställer om. Till exempel har företaget Scan de senaste åren lanserat flera vegetariska substitut (Obminska 2019), och nyligen annonserade Dafgårds att de satsar 300 miljoner i en ny anläggning inriktad helt på växtbaserad chark (Livsmedelsnyheter 2021).

Idag finns det flertalet tekniker som imiterar köttliknande textur. Teknikerna har ofta helt olika tillvägagångssätt, men med det gemensamma målet att efterlikna muskelfibrer. Växtproteiner utgör en utmaning jämfört med animalier då de måste processas mer intensivt för att ta önskad form, vilket till viss del kan sätta käppar i hjulet (Asgar et al. 2010). Men med forskningens hjälp försöker man bemästra detta, och det syns även i mängden artiklar som publiceras i ämnet. Det har skett en markant ökning de senaste 10 åren, och fyrdubblades jämfört med decenniet tidigare (Sha & Xiong 2020) vilket indikerar att intresset är stort. Det stundande proteinskiftet, det vill säga den succesiva övergången från animaliskt till mer växtbaserat protein, gör att branschen är mer aktuell än någonsin och visar stor potential för framtiden.

1.2. Syfte och avgränsningar

Detta arbete syftar till att definiera vad som menas med köttig konsistens och redogöra för de tekniker som möjliggör denna textur i en helt växtbaserad produkt. Den publicerade informationen diskuteras, jämförs och den framtida potentialen utvärderas. Det undersöks även hur växtprotein påverkar produktens struktur och vad köttig konsistens faktiskt innebär. Slutligen diskuteras hur branschen kan komma att utvecklas i framtiden. Följande frågor utreds:

Vad är köttig konsistens?

På vilka sätt påverkar växtproteiners egenskaper bildandet av en köttanalog?

*Vilka tekniker finns för att uppnå en fibrös textur i en helt växtbaserad produkt?
Vad skiljer dessa åt?*

Hur ser framtiden ut för branschen?

Arbetet avgränsas genom att enbart omfatta helt växtbaserade köttanaloger, vilket innebär att till exempel odlat kött, som härstammar från riktiga djurceller, inte tas

upp. Substitut utan en tydlig fibrös textur, till exempel tofu, avhandlas ej då dessa inte produceras i syfte att efterlikna kött.

1.3. Metod

1.3.1. Litteraturstudie

En litteraturstudie har genomförts för att samla in kunskap och tidigare utförd forskning kring ämnet. Flertalet databaser har använts för att finna relevant litteratur; främst ScienceDirect, Pubmed och Google Scholar men även Livsmedelsverket och produkthemsidor såsom Quorn och Novameat. Sökmotorn Primo tillhandahållen från SLU:s bibliotek har också använts för att söka information.

Följande sökord har använts i diverse kombinationer: meat analogs, plant based, meat alternatives, alternative protein, structuring techniques, fibre formation, anisotropy, processing, products, environmental.

1.3.2. Intervju

En intervju med livsmedelsforskaren Karolina Östbring vid Lunds universitet genomfördes som komplement till litteraturstudien, som med mycket kunskap på området fick ge sitt perspektiv på ämnet. Intervjun gav värdefulla insikter om både nuläget och framtidsutsikterna för branschen som inte kunde hittas i den tillgängliga litteraturen, och bedömdes därför som mycket värdefulla att inkorporera i uppsatsen.

2. Litteraturgenomgång

2.1. Proteinets roll

Protein är livsnödvändigt för alla levande organismer och möjliggör mängder av funktioner i kroppen. Dessa byggstenar är uppbyggda av aminosyror som antingen syntetiseras i kroppen eller tillförs via maten. Det är därför av yttersta vikt att konsumera essentiella aminosyror i adekvat mängd för att tillgodose kroppens behov av protein. På grund av näringsstätheten i kött ses det som en proteinkälla av hög kvalitet (Asgar et al. 2010) då det innehåller alla essentiella aminosyror i rätt proportioner men även viktiga vitaminer och mineraler. Med animalier i kosten går detta därav enkelt, men även en vegetarisk kost kan vara fullt tillräcklig då kompletterande verkan från en varierad kost täcker proteinbehovet. Det är därför sällan ett problem för vare sig vegetarianer eller veganer att få i sig tillräckligt med protein (Livsmedelsverket 2021).

2.1.1. Vad är köttig konsistens?

Kött består av muskelvävnad som utgörs av långa celler (fibrer) packade med myofibriller. Dessa är uppbyggda av proteinerna aktin och myosin (Klont et al. 1998). Det är fibrerna som utgör grunden i köttets tuggiga och sega textur. Kött är ett anisotropt material, vilket innebär att materialet ändrar egenskaper beroende på riktning (Damez et al. 2008). Det är till exempel därför man rekommenderas att alltid skära kött tvärs över fibrerna, vilket minskar tuggmotståndet som annars uppstår om man skär längs med fibrerna (Foster 2015).

Muskelfibrer har en mycket god vattenhållande förmåga, där korrekt tillagningsmetod gör att köttet kan bli väldigt mört (Sha & Xiong 2020). Mellan myofilamenten (aktin och myosin) binds en majoritet av muskelcellens vatten in genom såväl kapillärkraft som vätebindningar och jon-dipol-bindningar. Detta är en viktig egenskap i kött som möjliggör en hög saftighet.

I många köttanaloger försöker man imitera muskelfibrer och dess egenskaper i så hög grad som möjligt med hjälp av olika tekniker. De komplexa strukturerna i kött gör det dock problematiskt att uppnå alla önskade attribut i en helt växtbaserad produkt (Sha & Xiong 2020). Därför kan köttsubstitut ibland upplevas som torra, smaklösa och tråkiga (Boukid 2021).

2.1.2. Växtproteiner

Växtproteiner har till skillnad från muskelfibrer inte särskilt hög vattenhållningsförmåga i sitt nativa tillstånd (Sha & Xiong 2020). Trots det kan växtmaterial med rätt behandling och vid optimala förhållanden skapa nya strukturer, vilket resulterar i andra egenskaper. De behandlade proteinerna blir bättre emulgenter och vattenhållningsförmågan ökar (Nishinari et al. 2018). På så vis kan fett, vatten och diverse smaksättare inkapslas bättre i produkten.

Halten och kvaliteten på proteinet i ett köttsubstitut spelar stor roll för produktens attribut (Bohrer 2019). Det finns många växtproteiner som skulle fungera bra till produktion av köttanaloger, men priser och tillgänglighet gör att främst soja, ärtor och vete används i nuläget (Sha & Xiong 2020). Av dessa tre är sojan dock den mest frekvent använda råvaran (Boukid 2021). Det höga proteininnehållet, balanserade sammansättningen av aminosyror och förmågan att gelera och binda in stora mängder vatten gör att sojan idag dominerar marknaden. Det frekventa användandet av soja inom såväl djurindustrin som humankonsumtion har medfört mycket forskning. Mängden tillgängligt protein från obehandlad respektive behandlad soja har analyserats intensivt för att skapa klarhet i hur den ska hanteras bäst. Resultat har visat att den tillgängliga mängden av essentiella aminosyror ökar avsevärt i produkten under vissa omständigheter om sojan är processad. Detta medför att sojaprodukter i vissa fall kan likställas med kött och mejeriprodukter (Bohrer 2019). Det ska dock poängteras att aminosyran metionin är sojans svaga punkt, då halten är låg i jämförelse med animalier (Bohrer 2019). Bristande mängd metionin påverkar i sin tur cystein som syntetiseras från metionin i kroppen och är därför en så kallad semi-essentiell aminosyra (Lopez & Mohiuddin 2021).

För att öka halten metionin kan det vara av intresse att inkorporera cerealier i någon form i köttanalogen, som till skillnad från soja innehåller relativt mycket metionin (Asgar et al. 2010). I cerealier är det i stället avsaknaden av lysin som blir problematisk men kompletteras i sin tur effektivt av sojan (Bohrer 2019).

En majoritet av proteinerna i soja är lagringsproteiner, vilket innebär att de syntetiseras under bönans mogningsfas, för att senare kunna användas vid groning och vidare tillväxt (Singh et al. 2014). De ingår i proteingruppen globuliner, där glycinin och B-conglycinin är de mest framträdande fraktionerna (Singh et al.

2014). Dessa utgör tillsammans uppemot 80% av det totala proteininnehållet. Det fördelaktiga med globulinerna är att de är mycket mottagliga för olika typer av bearbetning och lämpar sig därför väl i köttsubstitut (Sha & Xiong 2020). När energi appliceras kan proteinerna tvingas att lämna sin tertiära struktur och i stället vecklas upp till linjära enheter (Zahari et al. 2020). De hydrofoba sidokedjorna som dittills befunnit sig på insidan i den globulära strukturen exponeras då och möjliggör nya bindningar. Beroende på vilken gröda som används varierar aminosyrornas funktionella grupper, och således materialets egenskaper, vilket påverkar resultatet vid bearbetning. Oavsett gör generellt en hög temperatur att värmelabila bindningar bryts upp, vilket möjliggör en uppveckling av proteinet. Nya korsbindningar mellan proteiner kan då skapas, som bidrar till att ge materialet en ny textur. Dessa bindningar domineras främst av disulfidbryggor, vilket innebär att innehållet av aminosyror med svavel i råvaran till stor del avgör hur fibrös produkten kan bli. Detta har undersökts genom att jämföra köttanaloger skapade av rent sojaprotein med en blandning av soja-och veteprotein, där det i den senare kunde påvisas fler svavel-bindningar till följd av den ökade mängden metionin från vetet, och därav en mer fiberliknande struktur (Chiang et al. 2019).

2.2. Tekniker för att skapa fibrös textur

En rad tekniker finns idag tillgängliga för att möjliggöra en fibrös växtbaserad produkt. Man använder sig bland annat av temperatur, tryck, pH och skjuvkrafter för att skapa rätt textur. Teknikerna kan delas upp två strategier; bottom-up och top-down (Dekkers et al. 2018). Med dessa strategier förklaras hur respektive teknik uppnår en fibrös textur i produkten. Bottom-up syftar på att man aktivt bygger upp produkten från grunden genom att skapa enskilda fibrer som sedan "limmas" ihop till ett kluster (Dekkers et al. 2018). Hierarkin av strukturelement i kött som sträcker sig från nano-till makroskala kan då till viss del imiteras. Fibrerna placeras parallellt med varandra och något typ av bindemedel alternativt enzymer adderas för att skapa en sammanhängande massa. Med lyckat resultat kan ett anisotropt köttliknande material erhållas (Großmann & Weiss 2021). Top-down innebär däremot att kött endast imiteras i makroskala (Dekkers et al. 2018). Produkten kan rent visuellt och texturmässigt likna kött, men är inte särskilt likt den typiska fiberuppbyggnaden.

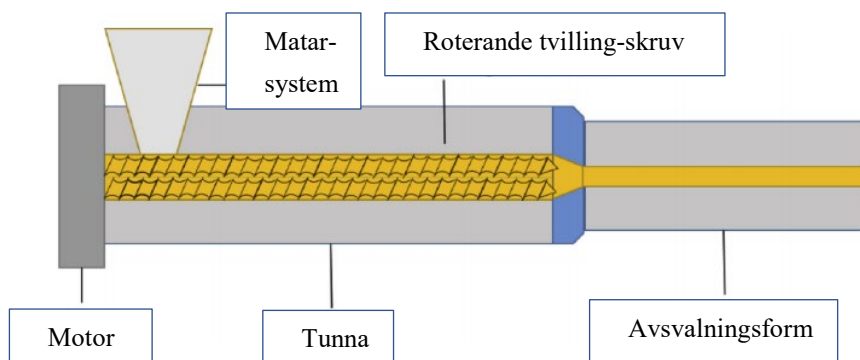
Tabell 1. Fördelar och nackdelar vid produktion av köttanaloger

Teknik	Fördelar	Nackdelar	Referenser
Extrudering	Hög produktivitet Ökar ev. proteinupptag Billig Nedbrytning antinutrierter Energieffektiv Mångsidig	Färgförändring	(Dekkers et al. 2018; Kyriakopoulou et al. 2019; Boukid 2021)
Shear cell technology	Mångsidig Lågt energibehov Uppskalningsbar	I utvecklingsstadiet	(Krintiras et al. 2016; Boukid 2021)
Mykoprotein	Hälsosamt Hög konsumentacceptans	Högt energibehov Resurskrävande Högt pris	(Souza Filho et al. 2019; Hashempour-Baltork et al. 2020)
Wet-spinning	Tunna fibriller	Stora avfallsströmmar Höga saltkoncentrationer Kemiska tillsatser	(Kyriakopoulou et al. 2019; Boukid 2021)
Elektrospinning	Tunna fibriller Uppskalningsbar Kostnadseffektiv	Många parametrar att kontrollera Svårt att spinna växtproteiner	(Kyriakopoulou et al. 2019; Boukid 2021)
3D-printing	Liknar köttfiberstruktur Går att individanpassa	Höga kostnader Tidskrävande Behövs stort underlag för varje produkt – mer forskning krävs	(Dekkers et al. 2018; Voon et al. 2019; Boukid 2021)

2.2.1. Top down-tekniker

Extrudering

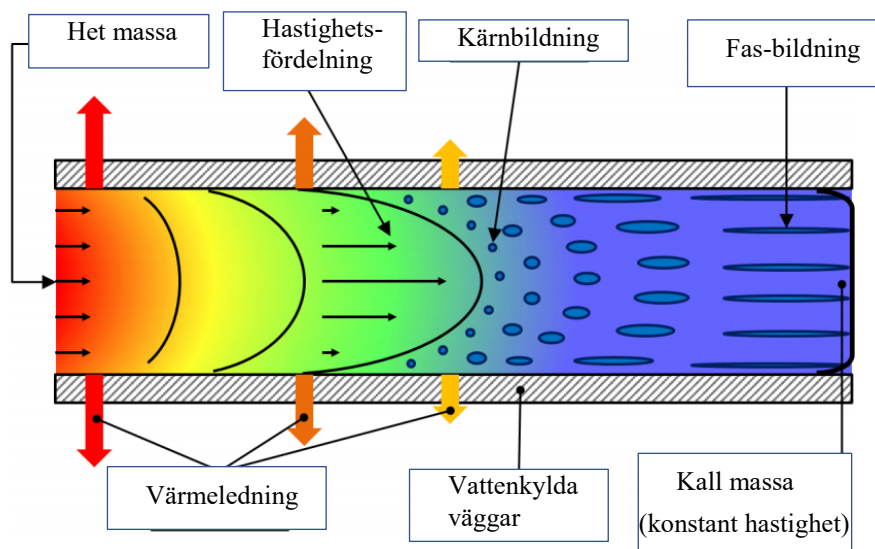
Extrudering är ett exempel på en top-down strategy, som därav skapar köttanaloger som endast liknar kött i större skala (Dekkers et al. 2018). Det är den mest välanvända metoden för att skapa köttsubstitut och har funnits tillgänglig ända sedan 60-talet (Plattner 2020). Vid extrudering används en kombination av värme, tryck och skjuvspänning för att texturisera råmaterialet som slutligen formas och pressas ut i önskad storlek (Wassén). Det finns flera olika typer av extrudering som kan tillämpas på växtproteiner, men den som skapar den mest köttliknande slutprodukten kallas high-moisture extrusion (HME). Processen börjar med att en mix av råmaterial hålls ned i mataren i extrudern som har till uppgift att i lagom takt fylla på förbehandlaren. Där hydreras materialet tills en vattenhalt runt 35–40%. Detta innebär en fullständig hydrering av proteinerna, vilket är viktigt för att senare kunna få en god struktur i produkten, vilket annars hindras av ojämna vattenfördelning (Plattner 2020). Materialet portionernas senare vidare in i själva extrudern, där en tvilling-skruv monterad i ett långt rör trycker massan framåt (Figur 1). Mer vatten adderas för att nå en vattenhalt på 50–70% och ytterligare skjuvspänning tillförs. Tillsammans gör detta att proteinerna tvingas lämna sin initiala globulära struktur och bildar i stället en het viskoelastisk massa (Kyriakopoulou et al. 2019). Generellt sker denaturering av växtproteiner omkring 130-135°C, men beroende på typ av råmaterial som används justeras temperaturen för att optimera fiberuppbyggnad (Plattner 2020).



Figur 1. Extruder med tvilling-skruv (Kyriakopoulou et al. 2019) Copyright 2019 av Elsevier. Används med tillåtelse.

Det denaturerade proteinet börjar omformas i flödets riktning och nya tvärbindingar uppstår. Flera olika faktorer spelar roll för vilka bindingar som skapas, såsom förbehandling av råvaran, val av inställningar och utseende på extrudern. De nya bindingarna skapar den fibrösa texturen som annars är det som skiljer sig mellan växtmaterial och kött (Ismail et al. 2020). När massan senare lämnar extrudern transporteras den in i en avsvälningsform där den sakta börjar

svalna. Friktionen som uppstår mellan de kalla väggarna och den varma massan medför att ett laminärt flöde bildas, där hastigheten är högre i mitten av röret än i utkanterna. Både en hastighetsgradient och en temperaturgradient har således skapats (Sandoval Murillo et al. 2018). I takt med att massan sjunker alltmer i temperatur börjar råmaterialet dela upp sig i två faser, där den ena formar den kontinuerliga fasen och den andra den dispersa (Figur 2). Den kontinuerliga fasen utgörs mestadels av protein, medan den dispersa fasen är mer vattenbaserad och har därför svagare struktur än proteindelen. Det laminära flödet gör att faserna sträcks ut till mer långsmala segment. På så sätt uppstår en typ av köttfiber-struktur där skiftningen i faser möjliggör en fibrös produkt utan att enskilda fibrer har skapats en och en (Dekkers et al. 2018). Jämfört med andra typer av extrudering är avsvlningsfasen i HME längre då materialet måste sänkas till en temperatur under vattnets kokpunkt (Plattner 2020). En högre temperatur gör att materialet expanderar när det lämnar maskinen till följd av den snabba avdunstningen, vilket medför en luftig och lätt struktur. En lägre temperatur skapar i stället en fibrös och kompakt köttanalog.



Figur 2. Strukturbildning under kylningsprocessen (Sandoval Murillo et al. 2018) Copyright 2019 av Elsevier. Används med tillåtelse.

Extrudering är som tidigare nämnt en välanvänd metod och producerar effektivt växtbaserade fiberstrukturer. Det är en förhållandevis billig process och är enkel att utföra i stor skala och har även lägre klimatavtryck än många andra tekniker (Dekkers et al. 2018). Denatureringen av proteiner i extrudern innebär att värmelabila antinutritionella faktorer effektivt oskadliggörs, vilket är positivt ur hälsosynpunkt (Boukid 2021). Den faktiska likheten med kött rent texturmässigt är dock ifrågasatt när det gäller top-down strategier, då det råder delade meningar kring om produkten är ett fullgott substitut (Dekkers et al. 2018).

Karolina Östbring är livsmedelsforskare vid Lunds universitet och arbetar bland annat med att utveckla extruderade analoger av rapskaka som är en restprodukt vid rapsoljaframställning. Hon ser extrudering som den absolut bästa tekniken för framtiden, men menar att det finns stora brister i produktionslinjen. Idag finns det inga extruders i Sverige som kan texturera protein, utan allt som används i produktionen av köttanaloger importeras. Möjligheten att i Sverige utvinna protein ur vegetabilier till ett proteinisolat är ytterst begränsad, så även om råvaran som används är svensk måste den behandlas utomlands. Behovet av dessa anläggningar i Sverige är därför stort, men det återstår att se när de etableras och vilka aktörer som blir inblandade. Tidigare låg förhoppningen i att småskaliga företag skulle föra utvecklingen framåt, men i stället är det idag några av de största aktörerna som driver industrin. Orkla, IKEA och Lantmännen gör stora investeringar inom växtbaserat i Sverige, och satsar alla på att vara en del av framtidens proteinskifte (Östbring, personlig kommunikation).

Den minimala mängden forskning som finns på köttanaloger menar Östbring är ytterligare ett problem för branschen. Till exempel vet man inte hur proteinupptaget ser ut för extruderat protein från HME, vilket innebär att den faktiska mängden protein som absorberas är okänd. Eventuellt kan proteinerna bli så hårt bundna vid behandlingen att våra enzymer inte kan komma åt och bryta ned det effektivt, vilket skulle innebära att endast en liten del av den totala mängden protein tillgängliggörs. Det är dock även möjligt att detta inte alls utgör ett problem, utan att det i stället sker en mycket effektiv nedbrytning. Oavsett är det en fråga som med forskningens hjälp behöver besvaras för att komma vidare i utvecklingen (Östbring, personlig kommunikation).

Shear cell technology

En ny typ av strategi inom top-down använder sig av så kallad shear cell technology (Dekkers et al. 2018). Metoden liknar extrudering i viss mån då, den använder sig av skjuvspänning och temperatur för att skapa ett anisotropt material, men i stället för en extruder används en shear cell. Maskinen är antingen kon- eller cylinderformad, där den senare är anpassad för uppskalning av produktionen (Krintiras et al. 2016). Genom att placera ytterligare en kon/cylinder inuti skapas ett hålrum där en proteinrik lösning hålls ned. Den ena formen är fixerad medan den andra roterar (WUR 2015). I försök blandas sojaprotein med vatten och låts stå i 30 minuter för att materialet ska hinna blötas upp ordentligt (Heingartner 2018). Därefter tillsätts vetegluten innan blandningen överförs till maskinen som sätts i gång. De optimala förhållandena för en god fiberstruktur har visat sig uppstå efter 15 min i 95 °C med en rotation på 15 varv/minut (Krintiras et al. 2015). Rotationen skapar en linjär skjuvning där proteinet dras ut i en och samma riktning, vilket resulterar i köttliknande fibrer (Heingartner 2018). Fiberformationen är än så länge

inte en helt definierad process, men tros bero på en fassetparering mellan soja och gluten, där gluten potentiellt utgör den kontinuerliga fasen som ”klär in” domäner med sojaprotein. Sojan sträcks vid rotation ut till långa sfärer och ett anisotropt material kan därför bildas (Krintiras et al. 2015).

Tjockleken på produkten kan potentiellt ökas betydligt med den här metoden. Med extrudering kan idag en analog mellan 5-10 mm skapas, medan en shear cell möjliggör en analog så tjockt som 30 mm (Krintiras et al. 2016). Detta skapar goda förutsättningar för att kunna utveckla analoger som liknar kött i högre utsträckning jämfört med idag, och kan potentiellt bredda marknaden (Krintiras et al. 2016). Det är även en betydligt mer kontrollerad process än extrudering då uppbyggnaden av struktur är konstant under processens gång i stället för att endast ske i avsvalningsformen (Kyriakopoulou et al. 2019). Det är därför en mer väldefinierad process där det är enklare att kontrollera hur parametrarna temperatur, rotation och tid påverkar fiberformationen. Slutprodukten kvalitet är betydligt mer förutsägbar och mindre varierad än vid extrudering (Manski et al. 2007). Det har även rapporterats att den mekaniska energin som skulle behövas är endast en tiondel av vad som generellt krävs vid extrudering, vilket gör metoden extra intressant ur ett ekonomiskt såväl som miljömässigt perspektiv (Krintiras et al. 2016). Försök har visat att det är möjligt att skala upp produktionen utan några större hinder och kan förmodligen göras mycket effektivt i framtiden (Krintiras et al. 2016). Metoden är dock fortfarande i utvecklingsstadiet och har än så länge inte levererat något som går att köpa, men forskare spår att en färdig produkt kan finnas tillgänglig inom några år (Heingartner 2018).

2.2.2. Bottom-up-tekniker

Mykoprotein

Bildandet av mykoprotein är ett exempel på en bottom-up strategy, där enskilt skapade strukturelement sätts ihop i kluster till en sammanhängande massa (Dekkers et al. 2018). Tack vare svampen *Fusarium venenatum* kan en proteinrik massa skapas som är förhållandevis lik kött (Wiebe 2002). Det tog 12 år av intensiv forskning för att nå ut med mykoprotein till konsumenter, då man ville gardera sig mot eventuella säkerhetsrisker som konsumtion skulle innebära. Det är därför den mest analyserade produkten som finns ute på den europeiska marknaden. *F. venenatum* är en filamentös svamp och har ett högre proteininnehåll än de flesta andra svampar, vilken gör att den lämpar sig bra som livsmedel (Marlow Foods Ltd. 2012).

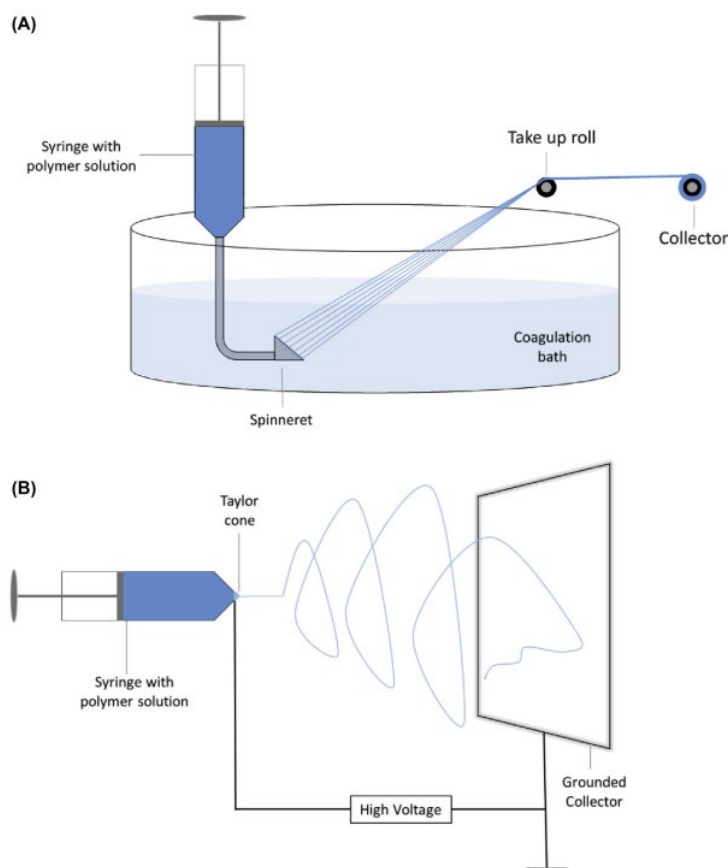
Produktionen av svampen sker i stora bioreaktorer där alla yttre faktorer såsom pH, temperatur och näringstillgång optimeras för att gynna tillväxten (Dekkers et al.

2018). Processen startar genom att svampen och näringslösning med bland annat glukos och ammoniak adderas till reaktorn. Luft pumpas in genom botten av reaktorn för att få in syre och röra om i innehållet. Temperaturen bör ligga runt 30 °C och pH vid 6. Svampen börjar då växa till sig och trådlika hyfer bildar köttliknande fibrer (Hashempour-Baltork et al. 2020). Innan svampmaterialet kan samlas ihop och plockas ut ur reaktorn värmebehandlas det under en kort tid där man höjer temperaturen till över 68 °C. Detta gör man för att minska mängden RNA i produkten, som under hög temperatur bryts ned till monomerer och kan diffundera ut ur cellerna. Koncentrationen minskar då från 10% till 2% intakt RNA, vilket motsvarar den ungefärliga mängd som finns i kött och utgör således ingen hälsofara. Om mängden RNA inte minimeras kan det leda till en förhöjd mängd urinsyra i kroppen vilket ökar risken för gikt (Souza Filho et al. 2019). Svampfilamenten filtreras ut genom centrifugering och bildar en paste med över 20% fasta ämnen (Wiebe 2002). Genom att addera ett bindemedel (ofta albumin från äggvita) uppnås en mer fibrös textur vid omblandning där mycelet sträcks ut och läggs i endast en riktning (Wiebe 2002). I de helt veganska produkterna tillsätts i stället potatisprotein som bindemedel (Quorn 2016). Fortsatt bearbetning genom till exempel texturisering, frysning och ångning möjliggör en mängd olika produkter (Dekkers et al. 2018). Aminosyrasammansättningen i mykoprotein är komplett och motsvarar ungefär det proteinupptag som erhålls när man dricker mjölk (Hashempour-Baltork et al. 2020). Dock är mängden aminosyror innehållandes svavel relativt låg, men utgör inget stort problem (Wiebe 2002).

Uppemot 350 kg svampmycel/h kan produceras i en reaktor, vilket gör det till en effektiv metod som relativt snabbt skapar ett proteinrikt livsmedel (Wiebe 2002). Dock är det förhållandevis resurskrävande och kräver mer energi än de flesta andra tekniker som finns för att skapa köttanaloger (Smetana et al. 2015). Något som adderar till detta är att vid värmebehandlingen (för att minska mängden RNA) diffunderar även andra cellkomponenter ut, vilket innebär en förlust av biomassa omkring 35%. Utbytet mellan råvara in respektive ut är därför inte optimerat och skulle behöva förbättras för att erhålla en billigare produkt (Souza Filho et al. 2019). En konsumentstudie kunde däremot påvisa att när man jämförde diverse olika köttalternativ föredrogs mykoprotein i högst utsträckning av deltagarna, vilket tyder på produktens potential avseende smak och textur (Elzerman et al. 2011). Mykoprotein säljs främst av företaget Quorn som är etablerat i Storbritannien och har ett brett sortiment av produkter som går att hitta i stora delar av världen (Snarud 2012). Men även i Sverige har man börjat intressera sig för mykoprotein och det nystartade företaget Mycorena har som mål att med svenska råvaror skapa ett proteinrikt livsmedel för den stora massan (Mycorena 2020).

Spinning-system

Ytterligare ett exempel på en bottom-up strategy är så kallad spinning. Genom spinning kan fibrer så tunna som 20 μm skapas (Dekkers et al. 2018), vilket är i samma storleksordning som bredden på en eukaryot cell (Guertin & Sabatini 2006). Det finns två typer av spinning som kan appliceras på produktion av köttanaloger; wet-spinning och elektrospinning (Kyriakopoulou et al. 2019). Wet-spinning är den äldsta metoden och går ut på att en proteinlösning i en tunn stråle trycks ut ur ett munstycke med väldigt små hål, en så kallad spinndysa (Dekkers et al. 2018). När detta sker sträcks proteinerna ut och placerar sig parallellt i en och samma riktning (Kyriakopoulou et al. 2019). De producerade fibrerna trycks rakt ned i ett koagulationsbad (därav *wet-spinning*) innehållandes ett icke-lösningsmedel för proteinet. Proteinet precipiterar och hårdnar då snabbt, medan resten av initiallösningen som inte utgjordes av protein löses upp i koagulationsvätskan. Denna kan då avlägsnas och kvar finns ytterst tunna proteintrådar som kan rullas upp på en spole (Figur 3A). I likhet med extrudering är systemet beroende av två faser, där fiberbildning sker när den dispersa fasen stelnar och den kontinuerliga fasen tvättas bort (Dekkers et al. 2018). En modernare metod som nyligen dykt upp som ett alternativ till wet-spinning är elektrospinning. Spinndysan är i det här fallet utsatt för hög spänning, vilket innebär att det skapas en elektrisk potential mellan strålen av proteinlösning i spinndysan och en uppsamlingsplatta placerad en bit bort. Spinndysan är inte nedsjunken i vätska utan hänger i stället i luften. Strålen dras då till plattan med motsatt laddning och det bildas en mycket tunn tråd i luften. I takt med att strålen rör sig mot plattan hinner lösningsmedlet avdunsta och kvar är endast en lång fiber bestående av protein (Schiffman & Schauer 2008). De ultratunna fibrerna i storleksklassen 100 nm (Dekkers et al. 2018) bildar ett virrvarr av trådar på plattan (Figur 3B).



Figur 3. Wet-spinning (A) och elektrospinning (B) (Kyriakopoulou et al. 2019) Copyright 2019 av Elsevier. Används med tillåtelse.

Fibrer skapade från elektrospinning har många användningsområden, såsom i textilier, mediciner och vid filtrering (Schiffman & Schauer 2008). Som livsmedel är det dock ett relativt outforskat område då det har visat sig uppstå problem i processen (Nieuwland et al. 2014). För att elektrospinning ska fungera krävs det att proteinerna är mycket lösliga och antar slumpmässiga former i vätskan i stället för att behålla sin globulära form. Detta försvårar användandet av växtprotein då dessa är just globulära i sitt naturliga tillstånd som vid denaturering bildar olösliga aggregat (Dekkers et al. 2018). Utöver detta finns det flera faktorer påverkar möjligheten att elektrospinna proteiner, såsom viskositet, koncentration, ledningsförmåga av lösningsmedlet och temperatur (Boukid 2021). Alla parametrar som måste tas i beaktande lämnar endast en smalt fönster för när tekniken kan appliceras (Kyriakopoulou et al. 2019). Därför är användandet av spinning i skapandet av köttanaloger endast på forskningsbasis idag och det finns ingen produktion i stor skala. Även utmaningen att montera ihop ett attraktivt livsmedel för konsumenter från det spunna materialet kvarstår (Manski et al. 2007).

Wet-spinning genererar i nuläget stora avfallsströmmar, vilket ger en större påverkan på miljön än till exempel extrudering och innebär tekniska svårigheter (Dekkers et al. 2018). Elektrospinning spås däremot ha en ljusare framtid då nya intressanta produkter potentiellt kan skapas. Köttanaloger med fibrer i nanometerskalan är underrepresenterat på marknaden och därför finns ett eventuellt konsumentbehov att fylla (Nieuwland et al. 2014).

3D-printade köttsubstitut

3D-printing (3DP) är en teknik som har blossat upp under det senaste decenniet och uppvisar många fördelaktiga egenskaper (Liu et al. 2017). Det går ut på att en digital modell av ett objekt effektivt kan byggas upp lager för lager i ett eller flera material av en printer. Tekniken används flitigt i en mängd branscher, såsom sjukvård, arkitektur, byggindustri och vid klädtillverkning (He et al. 2020). Trots det har den inte etablerat sig i livsmedelsbranschen, men börja sakta vinna mark även där. Första gången man lyckades skapa något ätbart var år 2000 då en tårta printades av en 3D-skrivare, vilket var den första tekniken för att printa livsmedel som patenterades (Yang et al. 2001). Sedan dess har utvecklingen gått framåt och 2018 kom den allra första 3D-printade köttanalogen (Valdes 2019). Denna sägs likna kött väl avseende textur och utseende, medan smaken menar man kräver vidare utveckling (Carrington 2020). Idag finns det hittills två företag som påstår sig ha lyckats printa ett köttliknande material (NOVAMEAT 2019; Askew 2020). Dessa företag är främst intresserade av att imitera en klassisk biff, då man anser att detta är något av det svåraste att efterlikna med enbart växtbaserade råvaror.

Flertalet 3D-metoder finns idag som potentiellt skulle kunna användas i produktion av köttanaloger, men av dessa har en särskild typ av extrudering kombinerat med 3D-teknik visat sig bäst lämpad för ändamålet. Det är därför den tekniken som företag på området har valt att använda sig av (NOVAMEAT 2019; Askew 2020). Det går ut på en typ av mikro-extrudering där extrudern fylls med en paste bestående av växtproteiner, vatten, fett och polysackarider som trycks ut ur ett munstycke till långa proteintrådar. Lager för lager kan en biffliknande analog byggas upp, där även köttets naturliga struktur, med till exempel insprängt fett, kan imiteras in i minsta detalj (NOVAMEAT 2019). Analogen måste efter tillverkning ”mogna” i en bioreaktor för att få rätt struktur. Tekniken öppnar upp för en detaljrikedom aldrig tidigare skådad för substitut, där såväl textur som näringsinnehåll kan skraddarsys för varje produkt (Ramachandraiah 2021). Man skulle även potentiellt kunna individanpassa livsmedel där alla parametrar optimeras för den specifika konsumenten. Till exempel riskerar många äldre som har svårt att tugga att bli undernärda, vilket kan förhindras genom att designa mat som riktar sig till den här målgruppen (Dick et al. 2019). Tekniken möjliggör även en mycket effektiv användning av råmaterial och en sparsam energiåtgång. Behovet

av arbetskraft minskar väsentligt vid en helt automatiserad process och majoriteten av transporter i produktionsledet kan elimineras (Dick et al. 2019).

Ett centralt problem inom 3DP är att extrudern kloggar igen när materialet ska simulera fibrer, då aggregationen försämrar flödet (Keerthana et al. 2020). Därför kan en eller flera stabiliseringsmedel behöva inkluderas i mixen (till exempel stärkelse, karragenan och alginat) för att uppnå önskad struktur. På egen hand är växtprotein ett icke printbart material, men med addering av dessa ingredienser öppnar sig nya möjligheter.

Andra nackdelar med tekniken är att det i nuläget är en mycket tidskrävande och kostsam process med låg produktivitet (Ramachandraiah 2021). För varje typ av analog som önskas skapas måste intensivt forskningsarbete föreligga för att få alla parametrar på plats. Det skulle därför behövas en typ av lättillgänglig databas för alla möjliga produkter med väsentlig information förprogrammerad, vilket inte existerar i nuläget. Ytterligare en utmaning är att lyckas skapa en produkt som klarar diverse typer av efterbehandling, såsom kokning och stekning, utan att texturen eller smaken försämras (Liu et al. 2017). Trots detta tror man att 3DP-branschen kommer växa i framtiden och så småningom skapa produkter tillgängliga för allmänheten (Askew 2020).

2.3. Framtiden för köttanaloger

En utmaning för branschen i nuläget är att utveckla attraktiva produkter som imiterar kött i högre grad, samtidigt som produktionen utförs på ett klimatsmart sätt (Kyriakopoulou et al. 2019). I flertalet studier har det konstaterats att smak, utseende och munkänsla av köttanaloger är avgörande faktorer för om man köper produkten (Sha & Xiong 2020). Dock har det hittills visat sig mycket svårt att efterlikna strukturen i kött på grund av den komplexa uppbyggnaden. Genom att addera tillsatser kan man komma närmare köttkonsistens, men samtidigt potentiellt då mista kunder som inte vill äta livsmedel med en allt för lång innehållsförteckning. Med tekniker som extrudering kan köttig karaktär i viss mån skapas, men vars mikrostruktur inte alls liknar muskelfibrer. Då det är just fibrerna som till stor del ger kött sina önskvärda egenskaper, såsom tuggighet och vattenhållningsförmåga, kan det lätt upplevas att analoger inte når upp till samma standard.

Beroende på val av råvaror och applicerade tekniker i produktionen av en analog kan mängder av olika produkter skapas. Mångsidigheten gör att det finns stora

möjligheter att i framtiden uppfylla flertalet konsumentkrav, gällande såväl hälsofördelar och klimatavtryck som smak och textur (Kyriakopoulou et al. 2019). Branschen spås erövra omkring 10% av den globala köttmarknaden det närmaste decenniet (Franck 2019), vilket skulle innebära en trefaldig ökning jämfört med idag (Nordevik 2019).

Karolina Östbring tror att potentialen för köttanaloger är stor, och menar att ribban måste sänkas för konsumenten att välja vegetabiliskt. Om man enkelt kan plocka något i butiken som ersätter köttet rakt av blir omställningen för konsumenterna mindre, och samma rätter kan fortsätta tillagas. Hon nämner även att det finns en generationsskillnad idag där yngre inte är lika avskräckta av processade livsmedel med adderade tillsatser jämfört med äldre. Viljan att äta så "naturligt" som möjligt trumfas av produktens klimatavtryck, medan det snarare är tvärtom för äldre. För framtiden kan det bli viktigt att få bort stämpeln på processad mat som farlig och onyttig. Många har en felaktig bild av vad processing innebär, och sammankopplar det ofta med höga halter socker, fett och salt. Däremot tänker man till exempel inte på att mjölk är ett väldigt processat livsmedel, utan det upplevs i stället som högst naturligt och hälsosamt. Producenter kan därför känna sig tvingade att skapa en "renare" produkt med färre tillsatser enbart för att attrahera fler kunder, vilket kan ha negativ inverkan på till exempel produktens textur och hållbarhet. Uppfattningen att processing per automatik är dåligt måste därför förändras för att öka acceptansen av köttanaloger (Östbring, personlig kommunikation).

3. Diskussion

Dagens köttkonsumtion är hårt ifrågasatt från flera håll. Forskare larmar om att drastiska förändringar måste ske för att nå landets klimatmål, vilket kräver att människor lägger om kosten mot mer växtbaserat. Detta kan kännas svårt och krångligt för den enskilda individen, då man inte vet vad köttet ska ersättas med. Genom att skapa analoger med köttets organoleptiska egenskaper blir det därför lättare att välja gröna alternativ. Utvecklingen av köttanaloger har gått snabbt de senaste åren, från att knappt synas till på hyllorna i mataffären till en explosionsartad ökning av produkter från diverse företag. Med tanke på ständiga nya lanseringar verkar det inte som att marknaden har nått sin fulla kapacitet, utan snarare bara är i början av sin tillväxtfas.

Eftersom det är just den köttiga texturen som många konsumenter tycker om försvårar det övergången till växtbaserat, där samma fiberstruktur inte existerar naturligt. Därför kan nya bearbetningstekniker vara nyckeln till att få fler att äta växtbaserat i framtiden. Av teknikerna inom bottom-up är det endast mykoprotein som finns att köpa i affären, medan resterande än så länge är i utvecklingsstadiet (Dekkers et al. 2018). Mykoprotein är varken en särskilt billig eller effektiv process, men har tack vare det extensiva förarbetet som pågick under många år genererat attraktiva produkter, vilket i sin tur har lockat kunder. Ett stort problem med bottom-up generellt är den dyra processen, då små enskilda strukturelement måste skapas och sättas ihop till stora kluster. Utöver det kan det vara svårt att skala upp produktionen jämfört med top-down, samtidigt som klimatavtrycket är större. Företaget Quorn har kommit långt, men är ofta dyrare än köttalternativet vilket medför att det inte heller finns några starka ekonomiska incitament för kunden att tänka nytt. Spinning-system har potential att skapa extremt tunna fibrer och därav en fibrös produkt, men i relation till den i nuläget tidskrävande och kostsamma processen har den inte vunnit någon mark. 3D-printing har kapacitet att växa och skapa en mängd olika produkter identiska till kött avseende utseendet, men smaken lämnar fortfarande mer att önska. Därtill är processen dyr och mer forskning kvarstår för att få till alla önskade attribut i en och samma produkt.

Top-down visar större potential gällande effektivitet och pris, men kan bara imitera kött i viss mån. Resultatet liknar inte alls den faktiska organiseringen i muskler,

men kan ändå upplevas köttigt till följd av fassetparering som skapar en fiberliknande struktur vid gynnsamma förhållanden (Dekkers et al. 2018). Extrudering har möjligtvis blivit så etablerad tack vare att tekniken länge använts inom flera industrier, vilket gör att det finns ett brett forskningsunderlag som har utvecklat tekniken och gjort den förhållandevis billig. Shear cell technology har visat stor potential i forskningsstudier där ett köttigt material liknande extrudering kan bildas, men sker under mildare förhållanden och med ett lägre energibehov. Kött som hittills visat sig svårt att imitera, såsom nöt-och fläskkött, kan potentiellt skapas med den här tekniken (Krintiras et al. 2015) vilket tyder på en positiv framtidsprognos. Dock krävs fortsatt forskning och utveckling för att kunna skala upp produktionen ytterligare, såväl som att hitta passande råvaror.

De tekniker som avhandlas i den här rapporten är inte nödvändigtvis tillräckliga för att säkra framtidens behov av köttanaloger. Möjligen måste andra tekniker uppfinnas, eller befintliga tekniker effektiviseras, för att skapa ännu mer konkurrenskraftiga produkter som mäter sig med kött på en ny nivå. Det råder dock inget tvivel om att köttanaloger inte är en passerande trend, utan kommer sannolikt ta en allt större plats på tallriken framöver. En utmaning för industrin är att ha hållbarhetsaspekten i fokus utan att samtidigt tvingas tumma på textur och smak. Parallellt måste acceptansen för processade livsmedel öka för att locka fler kunder, och mer forskning på området, gällande exempelvis näringsupptag, behöver genomföras. För att slippa förlita sig på import i lika hög utsträckning krävs även att anläggningar etableras i Sverige där hela produktionsledet omfattas. Lyckas detta är köttanaloger en av lösningarna till att proteinskiftet möjliggörs, och ett på sikt mer hållbart framtida livsmedelssystem.

Referenser

- Asgar, M.A., Fazilah, A., Huda, N., Bhat, R. & Karim, A.A. (2010). Nonmeat Protein Alternatives as Meat Extenders and Meat Analogs. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9 (5), 513–529. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00124.x>
- Askew, K. (2020-06-04). *Redefine Meat targets ‘meat-lovers’ with 3D printed plant-based solutions: ‘We’re closer than you think’*. *foodnavigator.com*. <https://www.foodnavigator.com/Article/2020/06/04/Redefine-Meat-targets-meat-lovers-with-3D-printed-plant-based-solutions-We-re-closer-than-you-think> [2021-04-20]
- Bohrer, B.M. (2019). An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. *Food Science and Human Wellness*, 8 (4), 320–329. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.11.006>
- Boukid, F. (2021). Plant-based meat analogues: from niche to mainstream. *European Food Research and Technology*, 247 (2), 297–308. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03630-9>
- Carrington, D. (2020). ‘Most realistic’ plant-based steak revealed. *the Guardian*. <http://www.theguardian.com/food/2020/jan/10/most-realistic-plant-based-steak-revealed> [2021-03-29]
- Chiang, J.H., Loveday, S.M., Hardacre, A.K. & Parker, M.E. (2019). Effects of soy protein to wheat gluten ratio on the physicochemical properties of extruded meat analogues. *Food Structure*, 19, 100102. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2018.11.002>
- Damez, J.-L., Clerjon, S., Abouelkaram, S. & Lepetit, J. (2008). Beef meat electrical impedance spectroscopy and anisotropy sensing for non-invasive early assessment of meat ageing. *Journal of Food Engineering*, 85 (1), 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.07.026>
- Dekkers, B., Boom, R. & Goot, A.J. (2018). Structuring processes for meat analogues. *Trends in Food Science & Technology*, 81. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.011>
- Dick, A., Bhandari, B. & Prakash, S. (2019). 3D printing of meat. *Meat Science*, 153, 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.03.005>
- Foster, K. (2015-02-11). *Here’s How (and Why) to Slice Meat Against the Grain*. *Kitchn*. <https://www.thekitchn.com/heres-exactly-how-to-slice-meat-against-the-grain-and-why-you-should-be-doing-it-meat-basics-215798> [2021-04-05]
- Franck, T. (2019-05-23). *Alternative meat to become \$140 billion industry in a decade, Barclays predicts*. *CNBC*. <https://www.cnbc.com/2019/05/23/alternative-meat-to-become-140-billion-industry-barclays-says.html> [2021-04-29]
- Großmann, L. & Weiss, J. (2021). Alternative Protein Sources as Technofunctional Food Ingredients. *Annual Review of Food Science and Technology*, 12. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-062520-093642>

- Hashempour-Baltork, F., Khosravi-Darani, K., Hosseini, H., Farshi, P. & Reihani, S.F.S. (2020). Mycoproteins as safe meat substitutes. *Journal of Cleaner Production*, 253, 119958. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.119958>
- He, C., Zhang, M. & Fang, Z. (2020). 3D printing of food: pretreatment and post-treatment of materials. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60 (14), 2379–2392. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1641065>
- Heingartner, P. 02 J. 2018 | 15:00 (2018-06-02). *The Race to Make a Great Fake Steak - IEEE Spectrum. IEEE Spectrum: Technology, Engineering, and Science News*. <https://spectrum.ieee.org/green-tech/conservation/the-race-to-make-a-great-fake-steak> [2021-03-29]
- Ismail, I., Hwang, Y.-H. & Joo, S.-T. (2020). Meat analog as future food: a review. *Journal of Animal Science and Technology*, 62 (2), 111–120. <https://doi.org/10.5187/jast.2020.62.2.111>
- Keerthana, K., Anukiruthika, T., Moses, J.A. & Anandharamakrishnan, C. (2020). Development of fiber-enriched 3D printed snacks from alternative foods: A study on button mushroom. *Journal of Food Engineering*, 287, 110116. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110116>
- Klont, R.E., Brocks, L. & Eikelenboom, G. (1998). Muscle fibre type and meat quality. *Meat Science*, 49, S219–S229. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)90050-X](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)90050-X)
- Krintiras, G.A., Gadea Diaz, J., van der Goot, A.J., Stankiewicz, A.I. & Stefanidis, G.D. (2016). On the use of the Couette Cell technology for large scale production of textured soy-based meat replacers. *Journal of Food Engineering*, 169, 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.021>
- Krintiras, G.A., Göbel, J., van der Goot, A.J. & Stefanidis, G.D. (2015). Production of structured soy-based meat analogues using simple shear and heat in a Couette Cell. *Journal of Food Engineering*, 160, 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.02.015>
- Kyriakopoulou, K., Dekkers, B. & van der Goot, A.J. (2019). Chapter 6 - Plant-Based Meat Analogues. I: Galanakis, C.M. (red.) *Sustainable Meat Production and Processing*. Academic Press, 103–126. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814874-7.00006-7>
- Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B. & Wang, Y. (2017). 3D printing: Printing precision and application in food sector. *Trends in Food Science & Technology*, 69, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.018>
- Livsmedelsnyheter (2021-04-12). *Dafgård's investerar 300 miljoner i fabrik för vegan-chark. Svenska Livsmedelsnyheter*. <https://www.livsmedelsnyheter.se/dafgards-investerar-300-miljoner-i-fabrik-for-vegan-chark/> [2021-05-04]
- Livsmedelsverket (2021-03-18). *Protein*. <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/naringsamne/protein> [2021-04-08]
- Lopez, M.J. & Mohiuddin, S.S. (2021). Biochemistry, Essential Amino Acids. *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557845/> [2021-04-27]
- LRF (2020-02-05). *Ny rapport: Stor potential för svenskt växtbaserat protein - LRF. Lantbrukarnas Riksförbund*. <https://www.lrf.se/mitt-lrf/nyheter/riks/2020/02/ny-rapport-stor-potential-for-svenskt-vaxtbaserat-protein/> [2021-04-28]
- Manski, J.M., van der Goot, A.J. & Boom, R.M. (2007). Advances in structure formation of anisotropic protein-rich foods through novel processing concepts. *Trends in Food Science & Technology*, 18 (11), 546–557. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.05.002>

- Nishinari, K., Fang, Y., Nagano, T., Guo, S. & Wang, R. (2018). 6 - Soy as a food ingredient. I: Yada, R.Y. (red.) *Proteins in Food Processing (Second Edition)*. Woodhead Publishing, 149–186. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100722-8.00007-3>
- Nordevik, A. (2019). Nya veganska köttet – en ”blodig” miljardindustri. *Svenska Dagbladet*. <https://www.svd.se/kampen-om-latsaskottet--en-blodig-miljardindustri> [2021-04-29]
- NOVAMEAT (2019). *Plant-Based Meat | NOVAMEAT | Barcelona*. NOVAMEAT. <https://www.novameat.com> [2021-04-21]
- Obminska, A. (2019-11-19). *Köttjätten Scan satsar på vegetariskt i sortimentet. Ny Teknik*. <https://www.nyteknik.se/miljo/kottjatten-scan-satsar-pa-vegetariskt-i-sortimentet-6979025> [2021-05-04]
- Plattner, B. (2020). Extrusion Techniques for Meat Analogues. *Cereal Foods World*, 65 (4). <https://doi.org/10.1094/CFW-65-4-0043>
- Ramachandraiah, K. (2021). Potential Development of Sustainable 3D-Printed Meat Analogues: A Review. *Sustainability*, 13 (2), 938. <https://doi.org/10.3390/su13020938>
- Sandoval Murillo, J.L., Osen, R., Hiermaier, S. & Ganzenmueller, G. (2018). Towards understanding the mechanism of fibrous texture formation during high-moisture extrusion of meat substitutes. *Journal of Food Engineering*, 242. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.08.009>
- Sha, L. & Xiong, Y.L. (2020). Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.022>
- Singh, A., Meena, M., Kumar, D., Dubey, A. & Hassan, M. (2014). Structural and Functional Analysis of Various Globulin Proteins from Soy Seed. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56, 00. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.700340>
- Souza Filho, P.F., Andersson, D., Ferreira, J.A. & Taherzadeh, M.J. (2019). Mycoprotein: environmental impact and health aspects. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 35 (10), 147. <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2723-9>
- Valdes, C. (2019-12-04). *Industrial scale 3D printing will experience tremendous growth in 2020. 3Dnatives*. <https://www.3dnatives.com/en/industrial-scale-3d-printing-041220195/> [2021-04-21]
- Voon, S.L., An, J., Wong, G., Zhang, Y. & Chua, C.K. (2019). 3D food printing: a categorised review of inks and their development. *Virtual and Physical Prototyping*, 14 (3), 203–218. <https://doi.org/10.1080/17452759.2019.1603508>
- Wassén, S. *Extruder av livsmedel. RISE*. <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/expertiser/extruderar> [2021-04-08]
- WUR (2015-02-12). *Shear Cell Story. WUR*. <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Chair-groups/Agrotechnology-and-Food-Sciences/Food-Process-Engineering/Research/Food-Structuring/Shear-Cell-Story.htm> [2021-04-16]
- Yang, J., Wu, L.W. & Liu, J., *Rapid prototyping and fabrication method for 3-D food objects*. US6280785B1. 2001-08-28. <https://patents.google.com/patent/US6280785B1/en> [2021-04-22]
- Zahari, I., Ferawati, F., Helstad, A., Ahlström, C., Östbring, K., Rayner, M. & Purhagen, J.K. (2020). Development of High-Moisture Meat Analogues with Hemp and Soy Protein Using Extrusion Cooking. *Foods*, 9 (6), 772. <https://doi.org/10.3390/foods9060772>